



IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MODELO FÍSICO PARA LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL INFLUYENTES EN LA PRESENCIA DE UN DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL

IMPLEMENTATION AND APPLICATION OF A PHYSICAL MODEL FOR THE SIMULATION OF
SUBSURFACE FLOW SCENARIOS INFLUENTIAL IN THE PRESENCE OF A SUPERFICIAL
SLIDE

Guillermo Pedro Morales Reyes¹; Luís Zaldivar²; María Vicenta
Esteller Alberich³

ORCID: 0000-0001-6022-6747

¹⁻³Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (UAEMex),

²Facultad de Ingeniería (UAEMex),

Av. Instituto Literario, No 100, C.P. 50000, Toluca Estado de México, México.

¹gpmoralesr@uaemex.mx, ²lluuiisszz94@gmail.com, ³mvestellera@uaemex.mx

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo adecuar y aplicar un modelo físico (Unidad de Estudio de Permeabilidad) para simular en un medio poroso granular (Fase 1) un canal de flujo subsuperficial producto de diversos contenidos de humedad representados como gradientes hidráulicos longitudinales y conocer su influencia en la presencia de deslizamientos superficiales, mismos que son de interés para conocer su comportamiento, debido a las consecuencias catastróficas que provocan y desde el ámbito de la modelación física, obtener una herramienta de simulación para valorar de manera preliminar los posibles factores que influyen en el proceso de deslizamiento[1]. La metodología consistió en: realizar una adecuación funcional del equipo, cambios estructurales mínimos de operación, manejo de las condiciones iniciales aplicables en el modelo, considerando cinco gradientes hidráulicos,(contenido de humedad bajo, sobresaturación y tres condiciones intermedias), se generaron las simulaciones para cada gradiente hidráulico y se midieron en el perfil granular los caudales de entrada y salida, asimismo, la fluctuación de la presión en puntos intermedios del perfil granular; se identificaron los sitios donde se presentaron a escala de laboratorio los deslizamientos. Los



resultados indicaron que en los gradientes hidráulicos que representan saturación y sobresaturación, se producen deslizamientos en algunos puntos del perfil granular. Se concluyó que el modelo puede ser utilizado para simular deslizamiento a escala y con las condiciones de saturación manejadas. Por lo anterior, el aporte del trabajo es la implementación inicial de un modelo físico que puede aprovecharse para posteriores trabajos de simulación de deslizamientos a escala de laboratorio.

Palabras clave: Modelo ; Deslizamiento; Saturación

SUMMARY

The work aimed to adapt and apply a physical model (Permeability Study Unit) to simulate in a granular porous medium (Phase 1) a subsurface flow channel product of various moisture contents represented as longitudinal hydraulic gradients and know their influence on the presence of surface landslides, which are of interest to know their behavior, due to the catastrophic consequences they cause and from the field of physical modeling, obtain a simulation tool to assess in a preliminary way the possible factors that influence the sliding process [1]. The methodology consisted of: performing a functional adaptation of the equipment, minimum structural changes of operation, management of the initial conditions applicable in the model, considering five hydraulic gradients ,(low humidity content, supersaturation and three intermediate conditions), simulations were generated for each hydraulic gradient and the inlet and outlet flows were measured in the granular profile, as well as the fluctuation of the pressure at intermediate points of the granular profile; the sites where the landslides occurred on a laboratory scale were identified. The results indicated that in hydraulic gradients representing saturation and oversaturation, slippage occurs at some points of the granular profile. It was concluded that the model can be used to simulate slippage at scale and with the saturation conditions handled. Therefore, the contribution of the work is the initial implementation of a physical model that can be used for subsequent work of simulation of landslides at laboratory scale.

Keywords: Model: Slippage; Saturation

Fecha de recepción: 13 julio 2021



Fecha de aceptación: 27 septiembre 2021
Fecha de publicación: 1 de mayo de 2022

INTRODUCCIÓN

Los modelos físicos a pesar del surgimiento de tecnología que los llega a suplir en diversas aplicaciones como lo es la simulación de diversos procesos, siguen siendo una herramienta alternativa para identificar, evaluar, simular y hasta cierto punto predecir el comportamiento de algún proceso de interés, algunos trabajos[1] muestran la fortaleza que tienen los modelos físicos aplicables en campo y la utilidad que muestran para detallar el comportamiento de un proceso como es un deslizamiento superficial, realizar modelación física en laboratorio depende de muchos factores, desde económicos hasta humanos, por lo tanto, hoy en día se busca que los modelos físicos existentes en laboratorio tengan un aprovechamiento al máximo en las diversas tareas de investigación aplicada y de tipo didáctico. Por lo anterior, mediante el presente trabajo se busca adecuar y aplicar un modelo físico existente conocido como Unidad de Estudio de Permeabilidad, que por sus características pudiera ser aplicado en la simulación de un escenario básico que se considera el precursor de las condiciones favorables para reproducir un

deslizamiento superficial, por tal motivo y considerando que no se dispone de modelos físicos para laboratorio que puedan representar una herramienta de apoyo en la simulación de este tipo de procesos, se buscó en este trabajo como objetivo principal, adaptar la funcionalidad y parcialmente la estructura de la Unidad de Estudio de Permeabilidad (UEP) para reproducir un canal de flujo subsuperficial, acompañado de las condiciones iniciales que gobiernan en contenido de humedad, que en este caso, se consideró el perfil de humedad bajo, medio y alto (sobresaturación) que respecto del tiempo pueden detonar consecuencias adversas en el ambiente, desde inestabilidad de suelos y edificios, hasta deslizamientos de tipo superficial. Tener una idea preliminar de cómo influyen los factores que se asocian en el modelo y lograr definir los que determinan un deslizamiento a escala de laboratorio, resulta gratificante para el modelador, ya permite obtener información preliminar, sin hacer estudios de campo y aplicaciones de softwares costosos, lo que muestra la justificante del presente trabajo. Anteriormente se han realizado trabajos como los citados en [1], [2] y [3],



que indican la aplicación de modelos a escala aplicados en campo o en sitios específicos de interés, pero su naturaleza no permite el acceso a una dinámica que permita obtener resultados más rápidos y sin contratiempos de desplazamientos al sitio de interés. La unidad de estudio de Permeabilidad (UEP) es un equipo que se ha utilizado por años para propósitos didácticos, principalmente en prácticas de

laboratorio de Hidrología, su estructura general se muestra en la figura 1 y por los elementos estructurales y accesorios que lo integra, se consideró una opción para la realización del trabajo de laboratorio, se hace notar que se tienen nulos antecedentes en la aplicación que se persiguió en este trabajo, por lo que sus adecuaciones son inéditas.

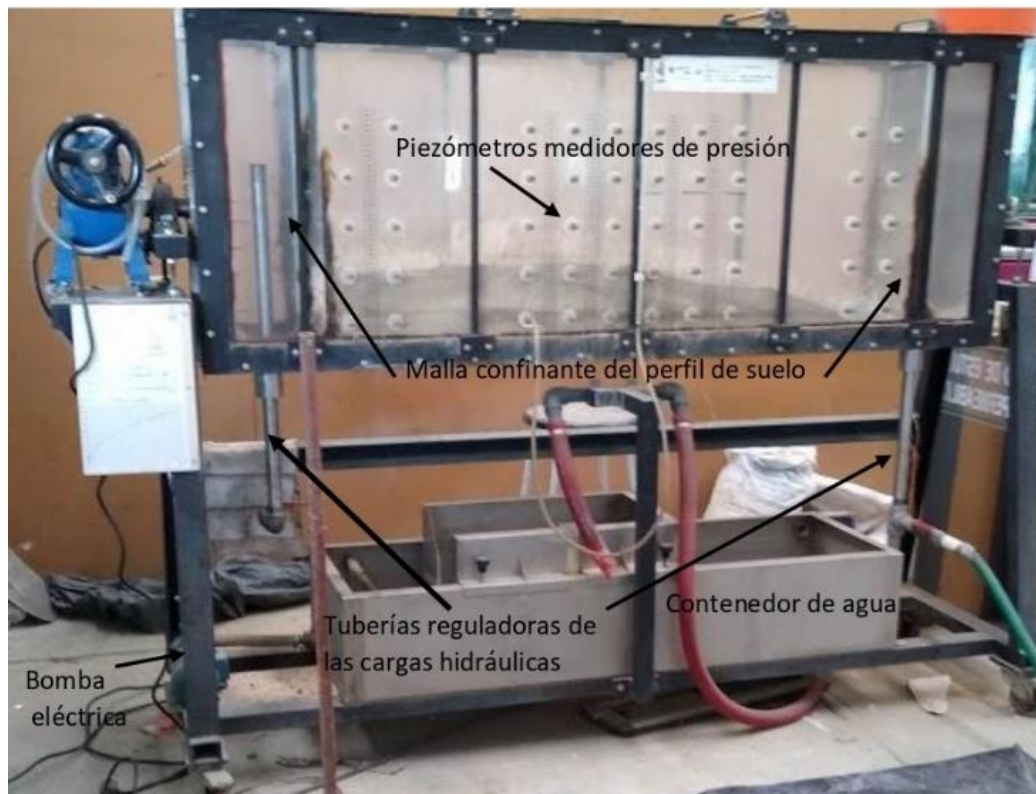


Figura 1. Estructura general de la Unidad de Estudio de Permeabilidad.

METODOLOGÍA

Los pasos metodológicos que permitieron cumplir con el objetivo de este trabajo se enuncian a continuación: **1. Adecuación**

funcional y estructural de la UEP. En esta etapa se identificó el funcionamiento original del equipo, los componentes que lo integran así como las ventajas y limitaciones que presentó al momento de



su disposición, de lo cual se generaron algunos cambios en la estructura de alimentación de flujo, eliminando la proporcionada por una bomba eléctrica e incorporando un sistema de alimentación por gravedad, regulado por un sistema de válvulas de compuerta, mediante las cuales se calibró diferentes aberturas de válvula para obtener las cargas hidráulicas en la entrada del medio poroso (perfil granular), con el mínimo de flujo en demasías, el cual se regula con una tubería provista en el equipo, la cual conduce el agua por su interior hacia una salida provista en el mismo equipo, a la vez que fija la carga hidráulica, la cual permite posicionar un gradiente hidráulico específico. En la figura 1 se puede observar referidos tubos reguladores de la carga hidráulica.

También como parte de la modificación del sistema de alimentación de flujo, se incorporó un tanque de 200 L de capacidad a una altura de 2.10 m para que funcionara como fuente de alimentación constante, mediante una tubería de 0.5 pulgadas de diámetro bifurcada con una conexión tipo yee para unirse a dos válvulas reguladoras de caudal mencionadas en párrafos anteriores. Cuando se presentó el vaciado del tanque fuente, se consideró la precaución de llenarlo cuando tuviera una

cuarta parte de su capacidad, alimentándolo con el sistema de distribución de agua por gravedad del Laboratorio de Modelos Hidráulicos del Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua.

Con las adecuaciones mencionadas se definió la forma de operar el equipo, consistente en a) colocar las mallas confinantes metálicas estabilizadoras del medio poroso o perfil granular, al inicio del perfil y en la salida del flujo, su posición se ilustra en la figura 1, b) Se fijó una escala de trabajo 1:100 para la colocación del perfil granular, considerando un ancho de canal de medio poroso de 21.0 m y la altura se definió según la topografía del escenario que se propuso reproducir, la cual corresponde a la existente en un sitio de presencia de un deslizamiento en la zona de Santa Ana Jilotzingo. Referido lugar fue objeto de estudio años antes y se dispuso de la topografía, c) se colocaron los tubos reguladores de carga piezométrica a las alturas que definirían el gradiente hidráulico con el cual se procedería a reproducir la circulación del flujo subsuperficial a través del canal de medio poroso, d) con una abertura de válvula previamente calibrada (con un mínimo de demasías en el tubo regulador de carga hidráulica) se alimentó al equipo para generar la carga hidráulica inicial, la



cual representa en un inicio el frente de humedecimiento en el medio poroso y con esta condición inicial esperar el tiempo necesario para que el frente de humedecimiento llegue hasta la salida del medio poroso y de esta forma obtener el perfil del gradiente hidráulico influyente en el medio granular, e) se procedió a realizar las mediciones de la presión en todo el perfil longitudinal utilizando los piezómetros mostrados en la figura 1, los cuales están posicionados de manera distribuida en dirección longitudinal y vertical respecto del perfil de medio poroso, f) se hizo una revisión cuidadosa del comportamiento del flujo, carga piezométrica y los cambios en la estructura del medio poroso, anotando y fotografiando los cambios sucedidos en todo el escenario.

2. Selección de la serie de perfiles y gradientes hidráulicos para las simulaciones. En esta etapa con la operatividad ya bien definida, se seleccionaron los perfiles de humedecimiento que se consideraron representativos y factibles de provocar una alteración a la estructura del perfil granular, considerando la existencia de estructuras como viviendas, sistemas de drenaje y el paso de una carretera, lo cual se consideró del escenario real de Santa Ana Jilotzingo, Estado de México. Los

perfiles fueron seis, el primero suave con la primera carga $H1 = 5$ cm y la segunda $H2 = 0$ cm. El segundo $H1 = 10$ cm y $H2 = 0$ cm. El tercero, $H1 = 15$ cm y $H2 = 0$ cm. El cuarto, $H1 = 20$ cm y $H2 = 0$ cm, El quinto $H1 = 25$ cm y $H2 = 0$ cm y finalmente el más desfavorable, el que representa una condición de sobresaturación es el que incluyó $H1 = 28$ cm y $H2 = 0$ cm. **3. Realización de las simulaciones.** Considerando la configuración de perfiles de medio poroso asociados a los diferentes gradientes hidráulicos preestablecidos en el párrafo anterior, se procedió a realizar cada simulación, operando en equipo como se mencionó en el paso metodológico 1 en los incisos a) hasta el f).

4. Evaluación del comportamiento del perfil de medio poroso para cada simulación. Al concluir cada simulación se realizó una evaluación que consistente de dos acciones, la primera fue una revisión visual de los cambios físicos de todo el perfil de medio poroso para lograr identificar si hubo presencia de deformaciones, socavaciones o deslizamientos superficiales. La segunda consistió en revisar los valores de carga piezométrica a lo largo del perfil de medio poroso para identificar anomalías en el equipo o presencia de alteraciones intersticiales por reacomodo del medio



poroso, lo cual lo detecta el piezómetro por un cambio de presión anómalo o diferente.

RESULTADOS

En cuanto a los resultados obtenidos para este trabajo, se pueden subdividir en dos grupos: resultados de los cambios funcionales y operacionales de la Unidad de Estudio de Permeabilidad y los propiamente correspondientes las realizaciones de las simulaciones de flujo subsuperficial de acuerdo con los

escenarios especificados. Inicialmente, las modificaciones estructurales consistentes en el sistema de alimentación, control y distribución del caudal, se muestran en la figura 2, considerando que la única limitante que presentaría esta modificación es el tiempo de operación que implicaría el reabastecimiento al tanque fuente en un tiempo no conocido, lo que implica proponer reabastecimientos parciales en horarios estratégicos.



Figura 2. Modificación en el sistema de alimentación de caudales.

Referente a la reproducción de los escenarios planteados considerando

los diversos gradientes hidráulicos, se realizaron las seis simulaciones y a



manera de ejemplo se ilustra una fotografía ubicada en la figura 3, donde se ilustra el manejo de la altura $H1 = 15 \text{ cm}$ y altura final $H2 = 0 \text{ cm}$, se observa como es el avance del flujo en el perfil longitudinal y en la figura 4 se

presenta el detalle de la carga hidráulica reproducida y como es el perfil inicial de humedecimiento para este gradiente hidráulico.



Figura 3. Detalle de la reproducción de la simulación con gradiente: $H1 = 15 \text{ cm}$ y $H2 = 0.0 \text{ cm}$.

El dimensionamiento final del canal de circulación de flujo en el medio poroso granular fue de 21 m de ancho y 160 m de largo en escala de 1: 100, es decir, 21 cm de ancho y 160 cm de largo. En la figura 4 se muestra una ampliación de la primera sección de avance del frente de humedecimiento, donde se ilustra la

simulación de forma adecuada de la circulación de un flujo subsuperficial bajo diferentes condiciones de humedecimiento, representadas por los gradientes hidráulicos comentados en párrafos anteriores.

Respecto a las simulaciones que



mostraron influencia del gradiente en la existencia de alguna socavación del perfil granular y en su caso, un deslizamiento de tipo superficial, es básicamente la más desfavorable, es decir, la que maneja un gradiente hidráulico con $H_1 = 28$ cm de carga hidráulica en la entrada del perfil granular y 0.0 cm en la salida (alcantarilla en la carretera). En las figuras 5 y 6 se muestran los impactos sobre el perfil granular, observándose en la figura 5 el inicio de la socavación del material ubicado en la base del muro de contención y junto al dren o alcantarilla de la carretera y en la figura 6, se aprecia un deslizamiento superficial en la parte superior del terraplén, generado posterior a la socavación en el pie de la base del muro de contención, lo cual indica que bajo condiciones de sobresaturación para lapsos de tiempo prolongados, si es posible que se produzcan socavaciones y deslizamientos de tipo superficial; es preciso comentar que la variable tiempo no se controló, ya que no se tiene certeza del tiempo en el que se presentan los deslizamientos y las socavaciones, lo cual implicó controlar de manera permanente las condiciones de circulación del flujo subsuperficial para diferentes gradientes hidráulicos. En cuanto al grado de compactación, se consideró la colocación del material granular compactado y

revisado en su compactación con un penetrómetro de aguja, manteniendo al 95 % el grado de compactación de los 5 m (5 cm) de profundidad hasta la línea base del modelo coincidente con el nivel de la salida en el dren de la carretera (alcantarilla), de 3 a 5 m superficiales se manejó el grado de compactación natural en un terreno donde se presentan labores de cultivo y tránsito rural, definido en tres zonas. Zona alta con un 75 %, media de 60 % y la baja con un 75% de grado de compactación.

Respecto a los valores de las cargas hidráulicas intermedias en dirección longitudinal del perfil granular, todas fueron coincidentes con el valor de la columna de agua presente en el punto de medición, algo que debe ser lógico de encontrar, ya que se trata de un medio donde la porosidad permite una circulación uniforme de agua y en condiciones de saturación cada lectura del piezómetro, normalmente coincide con el valor de la carga hidráulica o columna de agua presente en el punto de medición. El grado de compactación no tuvo influencia significativa en los valores de las cargas hidráulicas. Finalmente, estos resultados muestran que, si es factible trabajar con la Unidad de Estudio de Permeabilidad para simular una franja de flujo subsuperficial como un medio de



generación de un deslizamiento humedecimiento particulares.
superficial, sujeto a condiciones de

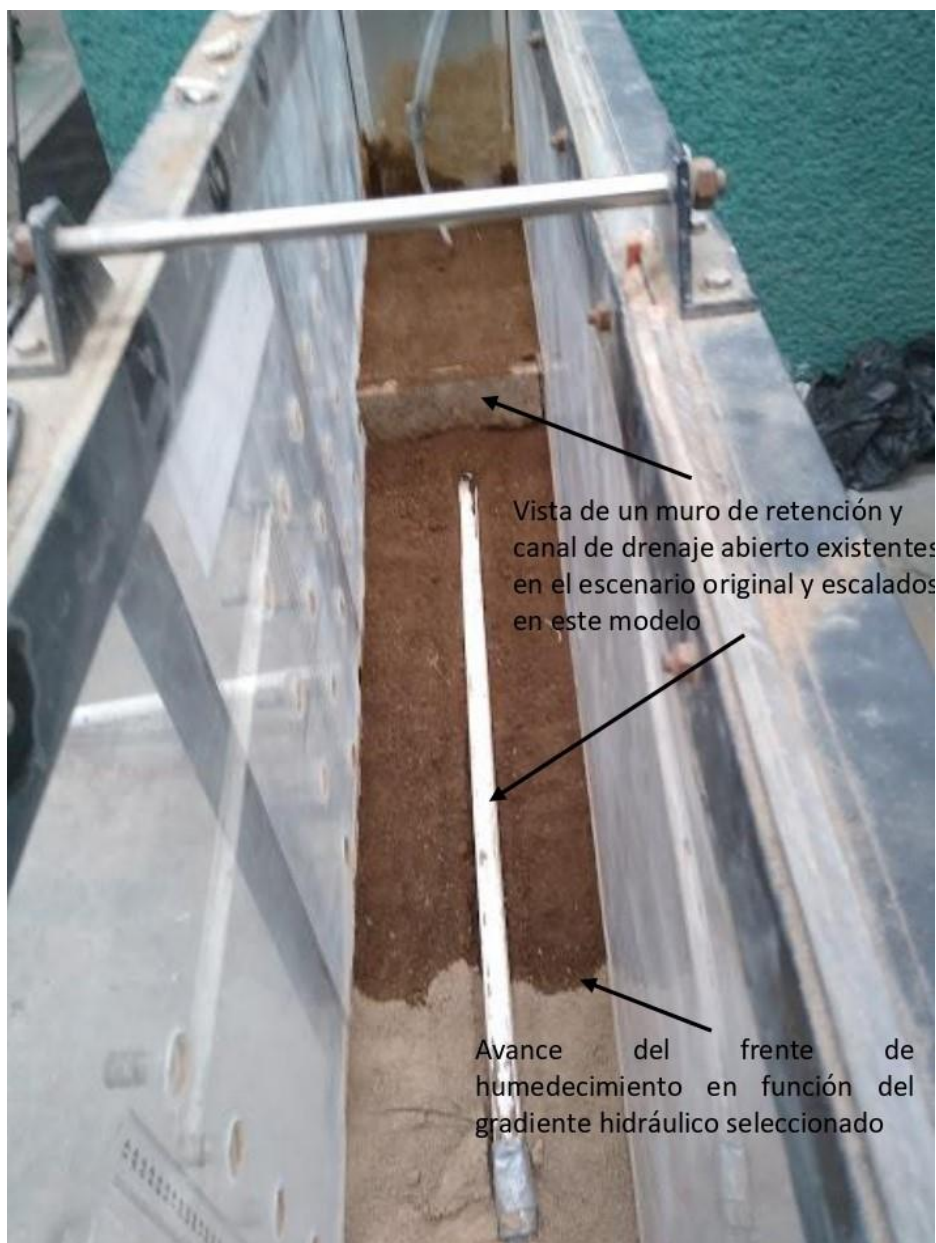


Figura 4. Vista en planta del avance del frente de humedecimiento en un 75 % de la saturación total del perfil granular.

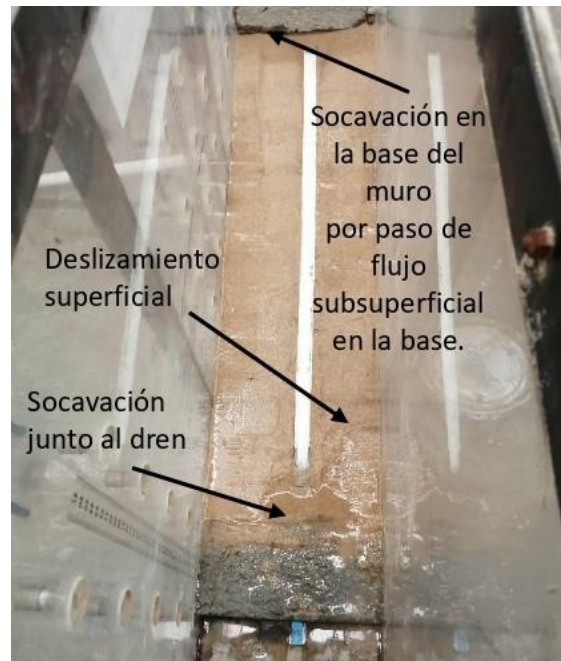


Figura 5. Ilustración de la presencia de la socavación en la base del muro, junto al dren y el deslizamiento superficial en la parte baja.



Figura 6. Presentación de la socavación del muro de contención y deslizamiento superficial en la parte alta del perfil granular, generados por el gradiente más desfavorable.



Finalmente, en la tabla 1 se muestra un resumen de los escenarios y el correspondiente resultado obtenido en cada simulación.

Tabla 1. Resultados de simulación en cada escenario.

Lista de elementos	
Gradiente H1/H2	Observaciones
05 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
10 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
15 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
20 cm / 0.0 cm	Saturación sin cambios en el perfil
25 cm / 0.0 cm	Saturación con ligero arrastre de suelo
28 cm / 0.0 cm	Sobresaturación, deslizamiento y socavación

En la figura 7 se ilustra la posición donde se midió la carga hidráulica con el piezómetro (puntos en color rojo), que en conjunto permiten configurar el perfil del gradiente hidráulico que en dirección longitudinal coincide con las líneas equipotenciales, por lo tanto, se observa que, para el perfil granular,

todos los puntos de medición que están circunscritos indican para una condición saturada del medio poroso la carga piezométrica existente y respecto del tiempo dependió la aparición de socavaciones y deslizamientos superficiales como los indicados en las figuras anteriores.

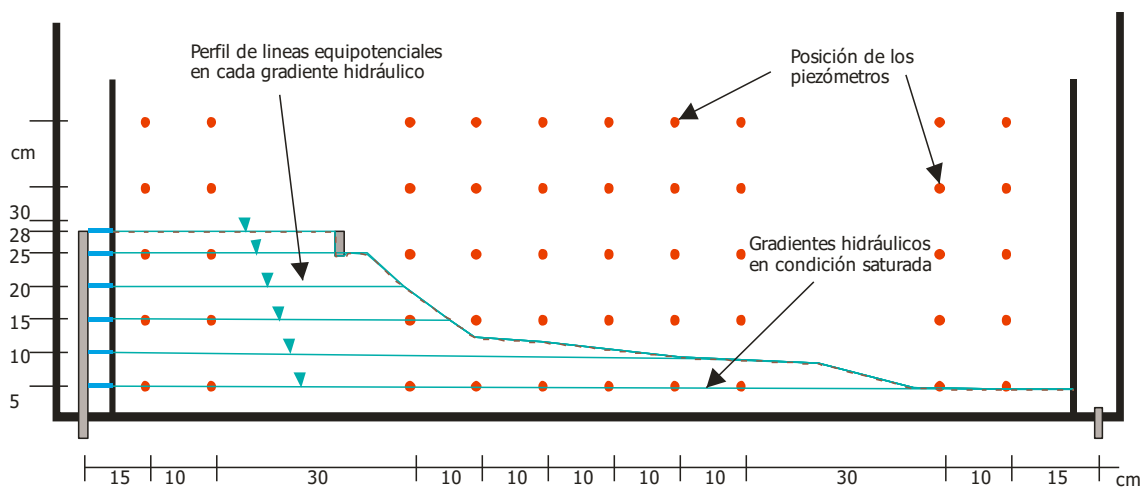


Figura 7. Representación global de la distribución de líneas equipotenciales generadas en cada simulación en condición de saturación del gradiente hidráulico en la unidad de estudio de permeabilidad.

DISCUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos,



se considera fundamental la estructura original de la Unidad de Estudio de Permeabilidad, ya que sus funciones originales e implementos permitieron realizar una modificación funcional adecuada, con la particularidad de que este tipo de equipos son muy específicos y solo se tienen reportes de trabajos didácticos como aplicación básica. Particularmente, en cuanto a los resultados de las simulaciones, por tratarse de un medio poroso granular el escenario básico a pesar de que los resultados son adecuados, se vislumbra la posibilidad real de generar una aplicación en un escenario con un tipo de material representativo de un sitio de estudio, por lo que se puede decir que al aporte del presente trabajo consistió en demostrar la posibilidad real de utilizar la Unidad de Estudio de Permeabilidad para simular el tránsito de un flujo subsuperficial acotado a un canal central de circulación, que normalmente se asemeja a la zona de confluencia de un flujo y que resulta ser la zona de mayor posibilidad de presentar desde una socavación de suelo hasta deslizamientos superficiales. También se puede comentar que los resultados son inéditos y se consideran la base para continuar trabajando, pero ahora con escenarios de perfil de suelo de la misma consistencia

que un sitio de interés real, donde se haya presentado algún evento de deslizamiento que se quisiera simular para evaluar factores influyentes. Se coincide con los trabajos presentados en [1] y [2], en cuanto a que, los modelos son factibles de perfeccionarse en cuanto más aplicaciones se tengan de los mismos y esto genere un equipo más completo y versátil para aplicaciones subsecuentes.

CONCLUSIONES

En función de las ventajas, características y limitaciones de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente.

La unidad de estudio de permeabilidad si permite mediante su aplicación, reproducir exitosamente la circulación de un flujo subsuperficial en un perfil granular con topografía a escala 1:100.

Las simulaciones permitieron identificar cuales escenarios son los más factibles de generar un deslizamiento superficial, considerando solamente la consistencia del perfil granular y el gradiente hidráulico. Existen otros factores que pueden influir como es la frecuencia sísmica y el cambio radical del uso de suelo de bosque a semiurbano o urbano, los cuales en esta primera fase no se consideraron.

Es recomendable realizar simulaciones para este mismo perfil, pero considerando el tipo de suelo original del sitio que inspiró la realización del presente trabajo,



esto mostrará con mayor aproximación como se llevó a cabo el deslizamiento registrado en Septiembre del año 2017.

Finalmente se agradece al Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua por el apoyo reflejado en la disposición del equipo, espacio en el Laboratorio de Modelos Hidráulicos y el apoyo del personal técnico para realizar algunos ajustes mecánicos al equipo.

REFERENCIAS

- Ferrer, M. (2002). "Taludes", Ingeniería Geológica, pp. 430 - 486, Madrid, España.
- Moreno, H. (2006). "La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquía: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria", Revista EIA, núm. 5, pp. 59 - 69, ISSN 1794 - 1237.
- Salvador Eduardo Teófilo, (2019). "Modelo hidromeccánico para evaluar el deslizamiento del suelo por efecto del flujo subsuperficial de agua", (Tesis de Doctorado), Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca Estado de México.



DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIOS MULTI-ESCALÓN MULTI-PRODUCTOS PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR COMERCIO UBICADA EN EL ESTADO DE MÉXICO

DESIGN OF A MULTI-STAGE MULTI-PRODUCT INVENTORY POLICY FOR A
COMPANY IN THE COMMERCE SECTOR LOCATED IN THE STATE OF
MEXICO

Gael Almazán Munguía *¹, Lourdes Loza-Hernández², Manuel González de la Rosa³ y
Sergio Vázquez Aranda ⁴

ORCID: 0000-0001-5107-7110

¹⁻⁴Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec S/N,
Ciudad Universitaria, C.P. 50100.
Toluca, Estado de México.

¹ galmazanm468@alumno.uaemex.mx, ² llozahe@gmail.com, ³ mgonzalezr@uaemex.mx,
[4svazqueza821@profesor.uaemex.mx](mailto:svazqueza821@profesor.uaemex.mx)

RESUMEN

Este documento presenta las etapas de análisis y diseño de las políticas de inventario propuestas para una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México. Para hacer posible la comercialización de los múltiples productos en su catálogo, la empresa caso de estudio tiene diversas instalaciones, entre ellas, un Centro de Distribución, el cual es surtido por un conjunto de proveedores, y este a su vez, surte a más de cuarenta puntos de venta donde son vendidos todos los productos al cliente final. Actualmente la empresa tiene problemas de manejo de productos de alto movimiento, por lo que se originan bajos niveles de disponibilidad de producto que satisfarían la demanda y altos costos administrativos. Para dar solución a estos problemas se establece como objetivo el diseño de políticas de inventario y como etapa previa a este proceso, se realizó una revisión de literatura relacionada al diseño y manejo de políticas multi-escalón y multi-producto. En esta revisión de literatura se prioriza la búsqueda de artículos científicos con características propias de la empresa caso de estudio y de sus productos. Posteriormente se establecen los productos del catálogo de la empresa a los cuales se aplicará la nueva política de inventarios mediante una clasificación ABC según los criterios más importantes para los



tomadores de decisiones de la empresa. El trabajo actual en desarrollo consiste en el análisis de la demanda desde 2019 hasta mediados de febrero de 2021 del conjunto de productos seleccionados, así como revisión de políticas de inventario ya establecidas aptas para las características propias del caso de estudio.

Palabras clave: *Políticas de inventarios; multi-escalón; multi-productos; clasificación ABC; análisis de la demanda.*

ABSTRACT

This document presents analysis and design stages of an inventory policy proposal for a company in the commerce sector located in State of Mexico. To make possible the commercialization of the multiple products in its catalog, the case study company has several facilities, among them, a Distribution Center, which is supplied by a set of suppliers, and this, in turn, supplies more than Forty points of sale where all products are sold to the end customer. Currently, the company has problems in handling high-movement products, so low levels of product availability arise that would satisfy the demand and high administrative costs. To solve these problems, the design of inventory policies is established as an objective and as a stage prior to this process, a literature review related to the design and management of multi-echelon and multi-product policies was carried out. In this literature review, the search for scientific articles with characteristics of the case study company and its products is prioritized. Subsequently, the products of the company's catalog are established to which the new inventory policy will be applied through an ABC classification according to the most important criteria for the company's decision makers. The current work in development consists of the analysis of the demand from 2019 to mid-February 2021 of the set of selected products, as well as a review of established suitable inventory policies for the characteristics of the case of study.

Key words: Inventory policies; multi-echelon; multi-product; ABC classification; demand analysis.

Fecha de recepción: 13 julio 2021

Fecha de aceptación: 09 septiembre 2021

Fecha de publicación: 1 de mayo de 2022



INTRODUCCIÓN

Este documento presenta las etapas iniciales de un proceso de diseño de políticas de inventario para una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México. Para hacer posible la comercialización de los múltiples productos en su catálogo, la empresa tiene diversas instalaciones, entre ellas, un Centro de Distribución, el cual es surtido por un conjunto de proveedores, y este a su vez, surte a más de cuarenta puntos de venta donde son vendidos todos los productos al cliente final. Actualmente la empresa tiene problemas de manejo de productos de alto movimiento, por lo que se originan bajos niveles de fill rate (medida del porcentaje de la disponibilidad de producto que satisfará una demanda (Ramírez, 2019)) y altos costos administrativos.

El diseño de una cadena de suministro es un campo en crecimiento dentro del área gerencial y es examinada a fondo por medio de la investigación de operaciones, la cual tiene como propósito el diseñar estructuras organizacionales productivas bajo restricciones de tiempo, costo, producción y/o distribución con la premisa básica de minimizar costos o maximizar ganancias y beneficios (Petridis, 2015).

Uno de los eslabones que forman a la

cadena de suministro es el de inventarios, el cual da origen a este trabajo ya que además de tener una gran importancia dentro del funcionamiento de una empresa, también conlleva un gran dilema que debe saber manejarse y controlarse de acuerdo con las características mismas de la cadena de suministro, debido a que mantener un alto nivel de inventario incrementa los costos de la cadena pero se logra un nivel de servicio al cliente mayor (Ballou, 2004).

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La etapa previa al proceso de diseño de las políticas de inventario para el caso de estudio consistió en la revisión de literatura relacionada al diseño y manejo de políticas multi-escalón y multi-producto. La búsqueda de artículos científicos se realizó considerando las características propias de la empresa caso de estudio y de sus productos. Se estableció como prioridad el análisis de artículos relacionados a políticas de inventario de tres escalones y multi-producto, así como el manejo de artículos perecederos y no perecederos en el periodo de 1999 a 2020. El resultado del análisis anterior arrojó que, a pesar de compartir problemáticas similares, tienen objetivos distintos. Una parte de la literatura comparte el propósito de



optimizar el tamaño de lotes en pedidos de reabastecimiento por ejemplo (Nagaraj and Selladurai, 2002), (Jaruphongs, Çetinkaya and Lee, 2004), (Lu and Qi, 2011), (Varyani, Jalilvand-Nejad and Fattahi, 2014) y (Gharaei, Karimi and Hoseini Shekarabi, 2019). Algunos otros, tratan el cálculo del punto de reorden bajo políticas de inventario diferentes, algunos de ellos son (Van Der Heijden, Diks and De Kok, 1999), (Thangam and Uthayakumar, 2009) y (Sadeghi, 2015). Asimismo, ciertos artículos revisados, buscan el modelado de cadenas de suministro integradas o la reducción de costos finales para los casos de estudio abordados. Algunos de estos artículos son (Hajiaghahi-Keshteli and Sajadifar, 2010), (Alimardani, Jolai and Rafiei, 2013) y (Parjane, Dabade and Gulve, 2017). También se encontraron artículos relacionados al sector comercio con objetivos diferentes a los anteriores, por ejemplo (Liu *et al.*, 2020) busca seleccionar un conjunto de depósitos o almacenes para satisfacer la demanda de los minoristas de la cadena de suministro de tres niveles. Por otro lado, en (Zijm and Timmer, 2008) se busca eliminar ineficiencia de costos entre sistemas centralizados y descentralizados de inventarios.

De manera particular, fue posible encontrar artículos enfocados a temas

más estrechamente relacionados a empresas del sector comercio. Por ejemplo, (Hoseini Shekarabi, Gharaei and Karimi, 2019) analizan una cadena de suministro de tres niveles o escalones; el primer escalón es considerado como el proveedor, el segundo es un productor y, finalmente el tercero es un conjunto de mayoristas. En este caso de estudio se calcula el número óptimo de lotes de pedido y su correspondiente tamaño, de tal manera que se minimice el costo total de inventario. El problema contempla un conjunto de restricciones como lo es el espacio limitado en el almacén, la cantidad de órdenes que se pueden colocar y la cantidad de productos que cada nivel de la cadena puede ordenar, costos de adquisición, costos de manejo de inventario y el costo de almacenar para el escalón de productor.

Otro ejemplo, relacionado directamente con empresas del sector comercio fue (Petridis, 2015), el cual consiste en el diseño de una cadena de suministro multi-escalón con una demanda normalmente distribuida. En este artículo se propone un diseño de un modelo flexible de cadena de suministro para facilitar el manejo de la demanda estocástica a la que se está sujeta. Como resultado ante la restricción de un tiempo de entrega que incluye la cantidad de inventario que se mantiene en los centros de distribución, con las



decisiones sobre el exceso y la falta de inventario, así como el tiempo correspondiente para cada uno, se tiene el modelo de programación no lineal de enteros mixtos multiobjetivo y mediciones estadísticas como la probabilidad de desabastecimiento y exceso de existencias.

Un tercer artículo científico de relevancia para el caso de estudio que se analiza en este documento fue (Axsäter, Kleijn and De Kok, 2004), el cual tiene como objetivo la racionalización de stock, implementada en un modelo de inventarios de revisión continua de dos escalones, en donde se busca un equilibrio entre dos costos importantes: 1 – Costo de no satisfacer la demanda de clientes directos y 2 – Costo de no satisfacer los pedidos de reabastecimiento de un minorista, en donde el primero resulta ser más elevado. La revisión de literatura continuará a lo largo del desarrollo del proyecto y dependiendo de los requerimientos.

Después de realizar una revisión preliminar de literatura, se inició la búsqueda de información necesaria para el proceso de diseño de políticas de inventario según los problemas resueltos en los artículos revisados. Esto a través de un acercamiento a la empresa y familiarización con los procesos internos del Centro de Distribución.

METODOLOGÍA

La empresa caso de estudio distribuye a su red de minoristas más de 6 mil productos a través de su Centro de Distribución, con ayuda de un equipo logístico propio y de empresas de transporte externas. Estos productos se categorizan en 24 diferentes familias, las que internamente denominan líneas. Naturalmente cada línea tiene productos con mayor flujo que otros y únicamente la experiencia e intuición del personal a cargo de este Centro de Distribución definen cuáles son. Por lo anterior, resulta conveniente identificar y justificar cuantitativamente la clasificación del conjunto de productos que son de mayor interés para la gerencia de la empresa y que, en consecuencia, sean para los cuales se diseñen las políticas de inventario adecuadas. Para ello, se recurre a un método denominado clasificación ABC.

La clasificación ABC se utiliza para identificar los productos más importantes para las empresas y así, tomar decisiones para establecer prioridades de atención en cuanto a su manejo y administración a lo largo de diferentes procesos. En este tipo de clasificación usualmente se generan tres clases o categorías de productos: A, B y C. Los productos de la clase A son



aquellos que deben recibir una atención más detallada por la administración, los productos de la clase B son de importancia secundaria con relación a la clase A y los productos de clase C son los productos restantes que generalmente se identifican como de menor importancia o que generan un menor impacto (Edward A. Silver, David F. Pyke, 2016). Para hacer posible la clasificación ABC fue necesario saber a detalle cuales son los criterios que un producto debe cumplir para categorizarlo como muy importante (bajo los criterios del personal de la empresa) de clase A. Los tomadores de decisiones de la empresa consideran tres criterios para mejorar sus procesos internos de inventario: i. productos con mayor cantidad de cajas solicitadas por las tiendas minoristas; ii. productos con mayor cantidad de cajas enviadas a las tiendas minoristas; iii. productos que mayor monto monetario representan. Además, fue requerida la priorización de dos líneas específicas en donde actualmente se tiene un mayor conflicto en niveles de inventario, las cuales serán referidas como líneas 1 y 2.

Una vez que los tres criterios de categorización de productos fueron definidos, se inició la recopilación de datos históricos de la empresa considerando dichos criterios. Se

obtuvieron informes de los años 2019 y 2020 así como una fracción de 2021. Los informes esencialmente consisten en registros individuales de productos solicitados por cada una de las tiendas minoristas al Centro de Distribución. Estos informes, además de registrar las cajas solicitadas de cada uno de los productos, también detallan cuántas de ellas fueron surtidas exitosamente, el monto que representaban al momento de la transferencia, la fecha en que se enviaron, cuál fue su tienda destino, la línea a la que pertenecen, folios internos de pedido, el proveedor de origen, entre otros. En total fueron obtenidos más de seis millones de registros de 120 reportes aproximadamente.

Para tratar esta información, se empleó el software de hojas de cálculo Excel de la paquetería Microsoft Office 365 mediante tablas y gráficos dinámicos. Como primer paso, se cubrió el requerimiento de la gerencia analizar únicamente de los productos de las líneas 1 y 2 para el diseño de políticas de inventarios de los más importantes, por lo que, eliminando los registros de las líneas restantes el número de registros analizados fueron 1,062,640 de 1,486 productos. Se analizó el número de cajas solicitadas y cajas surtidas y su monto total al Centro de Distribución desde la primera semana



de enero de 2019 hasta la primera semana de marzo de 2021. Las figuras 1, 2 y 3 ilustran el comportamiento de cada uno de los criterios por producto. En el eje vertical identifica los productos individuales y el eje horizontal su cantidad de cajas solicitadas, cajas surtidas y monto total respectivamente, para cada producto, esto es por ejemplo, para el producto que se encuentra en la base de la gráfica de la figura 1, el Centro de Distribución surte un total de cajas 300,289 cajas.

Es típico encontrar en diferentes sistemas de inventarios multi-SKUs (stock-keeping units, artículos de stock que están completamente especificado en cuanto a su función, estilo, tamaño, color y, a menudo, ubicación. (Edward A. Silver, David F. Pyke, 2016)) que alrededor del orden del 20% del total de SKUs hacen alrededor del 80% del uso anual en dólares. Esta relación se aplica en este caso de estudio, ya que con ayuda de las figuras es posible notar que pequeñas cantidades de productos por figura, representan la mayor parte del movimiento de cajas surtidas solicitadas y que representan mayor monto monetario.

De la lista de los 1,486 productos de las líneas 1 y 2 se realizó un ranking

individual de mayor a menor por cajas surtidas con su porcentaje acumulado para determinar cuántos y cuáles productos representan aproximadamente 80% de las cajas surtidas a las tiendas minoristas de la empresa; se obtuvo que 14,389,178 cajas de 287 productos representaron el 80.05% del total surtido. El mismo proceso se realizó para la cantidad de cajas solicitadas por los minoristas y para el monto total de las cajas enviadas, el resultado para el primero consistió en que 296 productos, de los cuales 20,267,642 cajas fueron solicitadas, representan el 79.98% del total. En cuanto al ranking de monto, se supo que un total de 287 productos suman \$5,414,223,750.40 que representaron el 79.91% del total de las líneas 1 y 2. A continuación, se elaboró un listado más específico que incluyera los productos que estuvieran en los tres rankings anteriores fueron asignados a la clase A, conformado únicamente de 385 productos (25.91% del total de los pertenecientes a las líneas 1 y 2). De manera ilustrativa, la tabla 1 contiene la información por criterio de únicamente 10 de los 385 productos de la clase A, para los cuales se diseñarán las nuevas políticas de inventario.

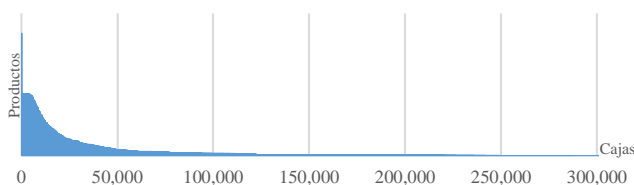


Figura 1. Cantidad de cajas surtidas por producto desde el Centro de Distribución.

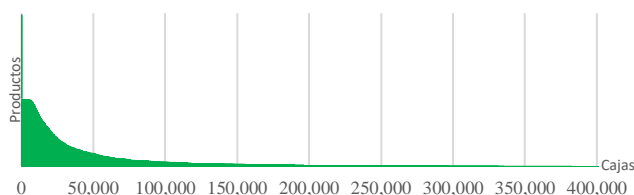


Figura 2. Cantidad de cajas solicitadas por producto al Centro de Distribución.

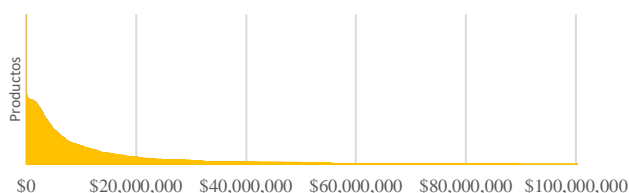


Figura 3. Monto total de las cajas enviadas por producto desde el Centro de Distribución a los minoristas.

Tabla 1. Cantidad de cajas solicitadas, surtidas y monto que representaron por producto de clase A de enero 2019 a marzo 2021.

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
Producto 1	798,848	1,120,534	\$89,972,726.33
Producto 2	441,045	493,778	\$40,612,331.44
Producto 3	216,115	382,683	\$7,549,807.25
Producto 4	326,095	335,587	\$36,131,640.92
Producto 5	288,382	331,613	\$251,370,887.86
Producto 6	249,324	297,324	\$58,097,813.20
Producto 7	241,923	288,351	\$83,554,659.89
Producto 8	157,070	283,903	\$58,165,062.59
Producto 9	220,569	271,930	\$103,414,072.69
Producto 10	236,165	260,114	\$68,326,776.72

Fuente: Elaboración propia. Productos ordenados por Cajas solicitadas.



TRABAJO EN DESARROLLO

Una vez definidos los productos más importantes para la empresa, es posible decir que se trata de productos de rápido movimiento desde el Centro de Distribución hacia la red de minoristas, por lo que se da pie a la búsqueda de políticas de inventario ya establecidas para artículos con estas características. Y para lo anterior, se debe tener con certeza conocimiento del comportamiento de las

demandas individuales del conjunto de productos proveniente de la clasificación ABC. Por lo tanto, se inicia la recopilación de datos para el análisis del comportamiento de la demanda desde los minoristas al Centro de Distribución por producto. En la figura 4 se ilustra lo propio del producto que encabeza la clase A.

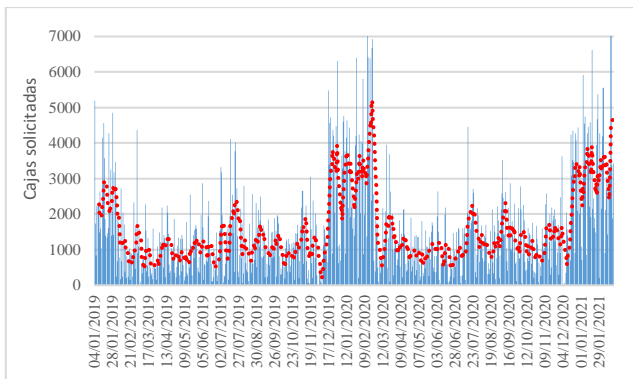


Figura 4. Cajas solicitadas del producto 1 al Centro de Distribución.

Como parte de un análisis preliminar de este producto, se puede notar que, a lo largo de los más de dos años graficados, se tienen periodos en los que la cantidad de cajas solicitadas varía en gran medida que incluso inmediatos posteriores y anteriores. También es posible notar que hay

partes específicas del año en que la demanda es notablemente superior al resto. El más notorio es el comprendido entre los meses de diciembre y febrero, lo cual, puede conducir a la existencia de estacionalidad.

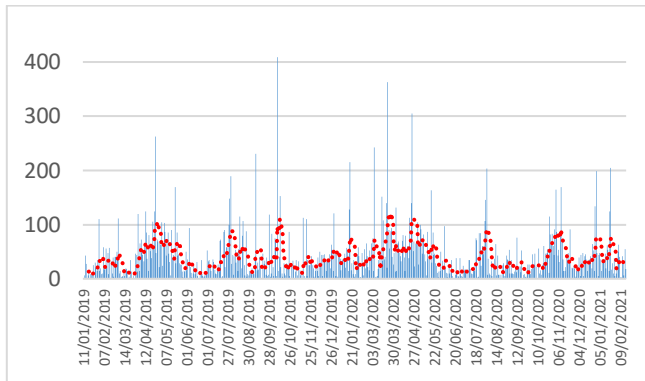


Figura 5. Cajas solicitadas del producto 385 al Centro de Distribución.

En la figura 5 se muestra la cantidad de cajas solicitadas por día del producto 385 a través del tiempo. Es posible notar que, aunque la cantidad de cajas solicitadas es notablemente menor en comparación con las del producto 1, también se presenta la peculiaridad de que en ciertos días se solicitan cantidades en gran magnitud diferentes a los días anteriores o posteriores. Esto puede representar un problema debido a que no se presentan tampoco estacionalidades o algún comportamiento establecido y que posteriormente puede complicar el cálculo de pronósticos de demanda para las políticas de inventario a diseñar.

CONCLUSIONES

Este documento refleja, de forma general, el trabajo en las primeras etapas del proceso de diseño de políticas de inventario para una empresa del sector comercio. La primera de ellas es considerada preliminar, ya que, durante el

proceso de familiarización con la empresa, se llevó a cabo una revisión de literatura que muestre problemas semejantes a los del caso de estudio y la forma de resolverlos.

Inicialmente se encontraron más de 20 artículos con estas características en diferentes plataformas y bases de datos. De esta primera selección, se distinguieron 3. El primero de ellos analiza una cadena de suministro de tres niveles o escalones sujeta a un conjunto de restricciones; el primer escalón es considerado como el proveedor, el segundo es un productor y, finalmente el tercero es un conjunto de mayoristas. El segundo artículo consiste en el diseño de una cadena de suministro multi-escalón con una demanda normalmente distribuida. El tercer artículo tiene como objetivo la racionalización de stock, implementada en un modelo de inventarios de revisión continua de dos escalones, en donde se busca un



equilibrio entre dos costos importantes: 1 – Costo de no satisfacer la demanda de clientes directos y 2 – Costo de no satisfacer los pedidos de reabastecimiento de un minorista.

Esta actividad, a pesar de ser la primera en realizarse, se complementará con búsqueda de artículos científicos de acuerdo con las necesidades y problemas que se presenten en el desarrollo del trabajo.

Después de la primera revisión de literatura se desarrolló una clasificación ABC para justificar cuantitativamente los productos más importantes del catálogo de la empresa, tomando en cuenta los criterios de sus tomadores de decisiones. Es importante resaltar que esta clasificación es fundamental para el desarrollo de este trabajo, y además fue implementada por el personal de la empresa dada la utilidad que mostró para el manejo de sus operaciones. La clasificación ABC desarrollada fue aplicada en los procesos operativos del Centro de Distribución, priorizando los procesos de compra, recepción, almacenaje y surtido de los artículos pertenecientes a la clase A.

Posterior a la clasificación ABC, se realizarán los pronósticos de demanda de

cada producto clase A que serán los datos de entrada de las políticas de inventario propuestas para el caso de estudio. Tomando como base las referencias (Petridis, 2015), (Hoseini Shekarabi, Gharaei and Karimi, 2019) y (Axsäter, Kleijn and De Kok, 2004), los datos relacionados a costos de almacenamiento, costo de colocar pedidos y costos fijos de inventario necesarios para la aplicación de la política de inventario adecuada ya fueron calculados. Los resultados de las políticas de inventario serán comparados con el desempeño actual del inventario de la empresa mediante el único indicador que la empresa emplea: fill rate, mostrando los beneficios del uso de métodos cuantitativos a problemas reales, siendo esta la etapa final del trabajo terminal de grado.

REFERENCIAS

- Alimardani, M., Jolai, F. and Rafiei, H. (2013). 'Bi-product inventory planning in a three-echelon supply chain with backordering, Poisson demand, and limited warehouse space', *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1). doi: 10.1186/2251-712X-9-22.
- Axsäter, S., Kleijn, M. and De Kok, T. G. (2004) 'Stock rationing in a continuous review two-echelon inventory model', *Annals of Operations Research*, 126(1–4),



- pp. 177–194. doi: 10.1023/B:ANOR.0000012280.68155.a3.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro*. Quinta Edi. Edited by E. Quintanar Duarte. Pearson Educación.
- Edward A. Silver, David F. Pyke, D. J. T. (2016). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. 4th ed. CRC Press. doi: 10.1201/9781315374406.
- Gharaei, A., Karimi, M. and Hoseini Shekarabi, S. A. (2019). 'An integrated multi-product, multi-buyer supply chain under penalty, green, and quality control polices and a vendor managed inventory with consignment stock agreement: The outer approximation with equality relaxation and augmented penalty algorithm', *Applied Mathematical Modelling*, 69, pp. 223–254. doi: 10.1016/j.apm.2018.11.035.
- Hajiaghaei-Keshteli, M. and Sajadifar, S. M. (2010). 'Deriving the cost function for a class of three-echelon inventory system with N-retailers and one-for-one ordering policy', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(1–4), pp. 343–351. doi: 10.1007/s00170-009-2486-9.
- Van Der Heijden, M., Diks, E. and De Kok, T. (1999). 'Inventory control in multi-echelon divergent systems with random lead times', *OR Spektrum*, 21(3), pp. 331–359. doi: 10.1007/s002910050093.
- Hoseini Shekarabi, S. A., Gharaei, A. and Karimi, M. (2019). 'Modelling and optimal lot-sizing of integrated multi-level multi-wholesaler supply chains under the shortage and limited warehouse space: generalised outer approximation', *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*, 6(3), pp. 237–257. doi: 10.1080/23302674.2018.1435835.
- Jaruphongsas, W., Çetinkaya, S. and Lee, C. Y. (2004). 'A two-echelon inventory optimization model with demand time window considerations', *Journal of Global Optimization*, 30(4), pp. 347–366. doi: 10.1007/s10898-004-6092-y.
- Liu, Y. et al. (2020). 'A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory–optimization model approach', *Computers and Industrial Engineering*, 142(January), p. 106326. doi: 10.1016/j.cie.2020.106326.
- Lu, L. and Qi, X. (2011). 'Dynamic lot sizing for multiple products with a new joint replenishment model', *European Journal of Operational Research*, 212(1), pp. 74–80. doi: 10.1016/j.ejor.2011.01.031.
- Nagaraj, P. and Selladurai, V. (2002). 'Analysis of optimum batch size in multistage, multifacility and multiproduct manufacturing systems', *International Journal of Advanced Manufacturing*



- Technology, 19(2), pp. 117–124. doi: 10.1007/s001700200004.
- Parjane, M. B., Dabade, B. M. and Gulve, M. B. (2017). 'Two Echelon Supply Chain Integrated Inventory Model for Similar Products: A Case Study', *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 98(3), pp. 353–358. doi: 10.1007/s40032-016-0221-5.
- Petridis, K. (2015). 'Optimal design of multi-echelon supply chain networks under normally distributed demand', *Annals of Operations Research*, 227(1), pp. 63–91. doi: 10.1007/s10479-013-1420-6.
- Ramírez, A. C. (2019). 'Indicadores de gestión logística', *Logística comercial internacional*, pp. 316–330. doi: 10.2307/j.ctvdf0jt2.9.
- Sadeghi, J. (2015). 'A multi-item integrated inventory model with different replenishment frequencies of retailers in a two-echelon supply chain management: a tuned-parameters hybrid meta-heuristic', *Opsearch*, 52(4), pp. 631–649. doi: 10.1007/s12597-015-0198-5.
- Thangam, A. and Uthayakumar, R. (2009). 'A two-level distribution inventory system with stochastic lead time at the lower echelon', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(11–12), pp. 1208–1220. doi: 10.1007/s00170-008-1567-5.
- Varyani, A., Jalilvand-Nejad, A. and Fattahi, P. (2014). 'Determining the optimum production quantity in three-echelon production system with stochastic demand', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(1–4), pp. 119–133. doi: 10.1007/s00170-014-5621-1.
- Zijm, H. and Timmer, J. (2008). 'Coordination mechanisms for inventory control in three-echelon serial and distribution systems', *Annals of Operations Research*, 158(1), pp. 161–182. doi: 10.1007/s10479-007-0239-4.